

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA ELECTRÓNICA E INGENIERO ELECTRÓNICO

TEMA:
DISEÑO DE UNA ANTENA MODELO COMPACT ACTSA PARA QUE
OPERE EN LA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA

AUTORES:
VIVIANA ALEXANDRA CAICEDO MÁRQUEZ
CRISTIAN SANTIAGO CALAHORRANO MORENO

TUTOR:
LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN

Quito, febrero del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR


Nosotros Viviana Alexandra Caicedo Márquez y Cristian Santiago Calahorrano Moreno, con documentos de identificación N° 1727017368 y N° 1724007339 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “DISEÑO DE UNA ANTENA MODELO COMPACT ACTSA PARA QUE OPERE EN LA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Electrónica e Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Viviana Alexandra Caicedo Márquez

CI: 1727017368



Cristian Santiago Calahorrano Moreno

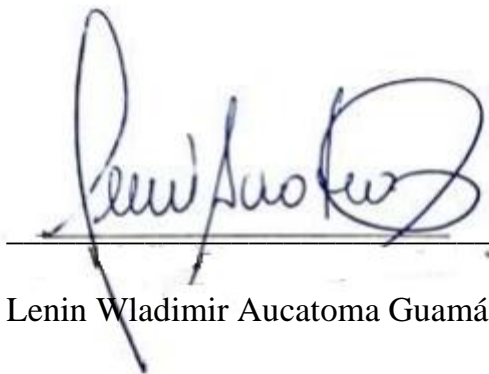
CI: 1724007339

Quito, febrero del 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el artículo académico, “DISEÑO DE UNA ANTENA MODELO COMPACT ACTSA PARA QUE OPERE EN LA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA.” realizado por Viviana Alexandra Caicedo Márquez y Cristian Santiago Calahorrano Moreno, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero de 2020

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Lenin Aucatoma', is written over a horizontal line. The signature is stylized with large loops and a long horizontal stroke at the end.

Lenin Wladimir Aucatoma Guamán

CI: 1717985830

DEDICATORIA

Este trabajo quiero dedicar primero a Dios que ha sido el pilar fundamental en mi vida, a mis padres José y Nancy y a mis hermanos María José y Guillermo ya que cada día de esta etapa me brindaron su apoyo, su amor, y su paciencia. Quiero también dedicar este trabajo a mis abuelitos Roberto, Ligia, Hugo Eduardo, que también me brindaron todo su amor y cariño, y como no también agradecerle a quién desde el cielo me guía y me cuida a mi abuelita Hilda Graciela Merizalde. A mis tíos, primos y toda mi familia que de cierta manera compartieron conmigo y me apoyaron. A mis amigos y compañeros que día a día reímos y compartimos muchas vivencias en las aulas y fuera de ellas.

Viviana Caicedo M.

Todo el esfuerzo impartido en esta investigación la dedico especialmente a mis padres Santiago Calahorrano, Verónica Moreno y a mi pareja que amo Viviana Caicedo quienes hicieron posible este gran objetivo, el cual me ayuda a crecer como ser humano poniendo en práctica todo lo aprendido.

Cristian Calahorrano

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por ser quién me cuida y me guía cada día para salir adelante, a mi familia que me ha apoyado a lo largo de mi vida y de mi carrera universitaria. Agradezco al Ing. Lenin Aucatoma que formó parte de todo este proceso y además es un gran amigo. A una persona muy especial, Cristian que con su apoyo y amor brindado logramos juntos culminar este trabajo. A todos mis ingenieros que a lo largo de la carrera me impartieron su conocimiento. Por último, quiero agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana y a la Carrera de Ingeniería Electrónica mención en Telecomunicaciones porque no solo me formaron académicamente, también me formaron en valores.

Viviana Caicedo M.

Agradezco a los docentes Lenin Aucatoma y Milton Tipán que dieron su apoyo durante el periodo del trabajo de titulación manteniendo paciencia e influencia al momento de regir responsabilidad sobre la investigación además agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por fomentar valores y disciplina a cada paso de mi vida.

Cristian Calahorrano

DISEÑO DE UNA ANTENA MODELO COMPACT ACTSA PARA QUE OPERE EN LA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA

DESIGN OF A COMPACT ACTSA ANTENNA MODEL TO OPERATE IN THE MILLIMETER WAVEBAND

Viviana Caicedo Márquez¹, Cristian Calahorrano Moreno²

Resumen

En el presente artículo se diseña una antena modelo Compact ACTSA tipo bocina utilizando el software ANSYS HFSS, donde se analiza el comportamiento de la antena en banda de onda milimétrica. Para esto, se realizan pruebas con distintos ajustes en las dimensiones del dieléctrico y la tierra para lograr que opere en la frecuencia de 60GHz. Se toman los resultados del coeficiente de reflexión ($S_{1,1}$), el VSWR, Coeficiente de Reflexión, para establecer las características en forma y componentes que permitan un diseño acorde a la banda donde se implementa. Finalmente se encuentra el diseño que se ajusta a la frecuencia de 60 GHz, con VSWR de 1.04 dB y un patrón de radiación omnidireccional.

Palabras Clave: Ondas milimétricas, alta frecuencia, parámetros de dispersión, Compact ACTSA.

Abstract

In this article a Compact ACTSA model horn antenna is designed using the ANSYS HFSS software, where the behavior of the antenna in a millimeter waveband is analyzed. For this, tests are performed with different adjustments in the dimensions of the dielectric and the earth to get it to operate at the frequency of 60GHz. We take the results of the parameter ($S_{1,1}$), the VSWR, Coefficient of Reflection, to establish the characteristics in form and components that allow me a design according to the band where it is implemented. Finally there is the design that fits the frequency of 60 GHz, with VSWR of 1.04 dB and an omnidirectional radiation pattern.

Keywords: Millimetric waves, high frequency, dispersion parameters, ACTSA Compact.

¹ Estudiante de Ingeniería Electrónica (Mención en Telecomunicaciones)-Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur

² Estudiante de Ingeniería Electrónica (Mención en Telecomunicaciones)-Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur

1. Introducción

La tecnología 5G en banda de onda milimétrica, ha logrado una aceptable acogida, por garantizar velocidades en el orden de 1Gbps y retardos de hasta 1ms [14].

En el diseño de la antena tipo bocina la apertura genera mayor directividad, alcanzando un gran ancho de banda debido a su facilidad de diseño tomando en cuenta el incremento de los desfases entre los campos radiados de la estructura como se indica en [13].

En [3] se explica que las antenas tipo bocina aumentan la directividad cuando se amplían las dimensiones verticales y/o horizontales de la apertura, lo que provoca que tengan altas ganancias y bajas pérdidas. Para alcanzar un mejor patrón de radiación la longitud de la bocina debe ser grande comparado con la apertura [5].

Además, su forma de apertura tiene una relación proporcional con los campos radiados que influyen en la distribución de la transmisión de las ondas. Las guías de onda rectangulares poseen una línea de transmisión con dos secciones de cuarto de longitud de onda cortocircuitadas, su impedancia de entrada es infinita lo que hace que la potencia transmitida no se afecte [7].

La antena ACTSA de configuraciones compactas, contiene curvas piramidales, un conductor con una abertura de gran tamaño y una guía de onda rectangular. [2].

2. Diseño de la antena

En la figura 1 se muestra el diseño de la antena Compact ACTSA que tiene una estructura con curvas piramidales y cortes simples al interior de la antena, similar a una bocina.

La antena tiene tres estructuras que son: el conductor ACTSA, el dieléctrico y la tierra, todas estas relacionadas conjuntamente por dos conductores y separadas por un sustrato dieléctrico, que a la vez forma una apertura al interior de la antena por donde se transmitirá la onda como se ve en la figura 1.

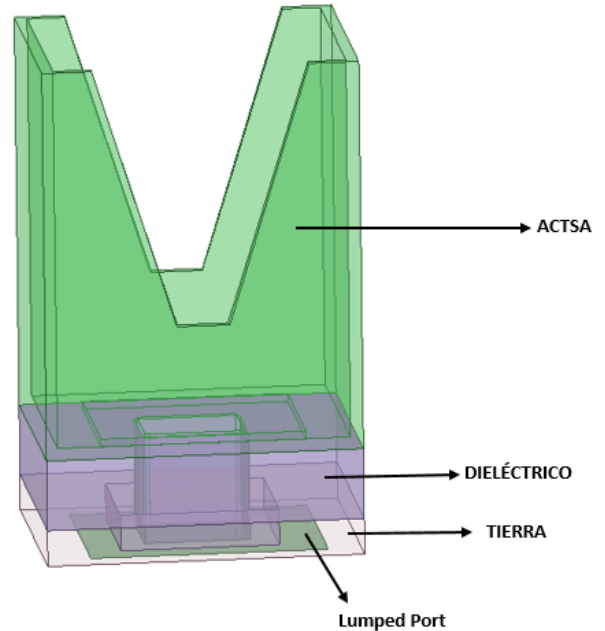


Figura 1. Vista en 3D de la antena Compact ACTSA

La antena tiene dimensiones muy pequeñas, ya que la frecuencia a la que se trabaja es alta y la longitud de onda pequeña, esto provoca que la antena sea implementada con impresión de circuitos de alta precisión.

En la figura 2 se especifican las partes que ensamblan la antena detallando las dimensiones de cada una de ellas.

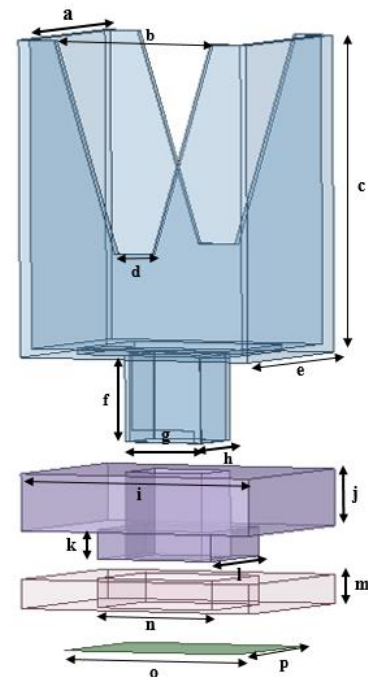


Figura 2. Parámetros del diseño de la antena Compact ACTSA.

La tabla 1 muestra los cambios específicos que se realizaron en cada diseño para lograr los valores óptimos para la antena. Los cambios se realizaron en el conductor ACTSA y en la tierra. En la simulación se recopiló

valores sobre los -3dB para los 5 mejores diseños en los 360°.

Diseño	Altura ACTSA[mm]	Altura Tierra[mm]
Diseño 1	1,479	0,1365
Diseño 2	1,486	0,1365
Diseño 3	1,489	0,1368
Diseño 4	1,495	0,1375
Diseño 5	1,5	0,138

Tabla 1. Valores de los 5 mejores diseños de la antena Compact ACTSA

En la tabla 2 se presentan los valores del diseño propuesto para la operación en banda de onda milimétrica en la frecuencia de 60 GHz.

ELEMENTO	Parámetro	Valor (mm)
ACTSA	a	0,84
	b	0,8246
	c	1,5
	d	0,2
	e	0,9
	f	0,408
	g	0,4
	h	0,3
Dieléctrico	i	1,2
	j	0,27
	k	0,138
	l	0,5
Tierra	m	0,138
	n	0,6
Lumped Port	o	0,9
	p	0,7

Tabla 2. Valores del diseño de la antena Compact ACTSA

3. Simulación y Resultados

La herramienta de simulación es el software ANSYS HFSS que sirve para simular antenas de alta frecuencia. La frecuencia de trabajo es 60 GHz debido a que comercialmente 5G está explotando en las bandas de 3GHz, 6 GHz e incluso 28 GHz como se explica en [8]. Sin embargo, comercialmente se está investigando en altas frecuencias, la banda de medición es de 15 GHz antes y 30 GHz después empezando con 45 GHz para salirnos de las bandas de 28 GHz y un máximo de 90 GHz, aunque para esta investigación incluso el máximo

podría ser 100 GHz, que sigue siendo banda de onda milimétrica. El medio de propagación donde se encuentra operando la antena es en una esfera de aire, la cual tiene una permitividad constante de $8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / (\text{N} \cdot \text{m}^2)$. Un puerto rectangular que simula la excitación de la antena en el parte inferior denominado Lumped Port, con una impedancia de 50Ω ya que tradicionalmente las impedancias para altas frecuencias son de 50Ω y 75Ω .

3.1. Resultado del Coeficiente de Reflexión

En la figura 3.1 se muestra la gráfica del coeficiente de reflexión (S11) para los cinco mejores resultados del análisis realizado.

Para este valor del coeficiente S(11) el objetivo es llegar a un valor de -25 dB ya que la proporción entre la potencia perdida y la potencia recibida es 1/3000, buscando sintonizar este parámetro lo más exacto posible a la frecuencia de 60GHz.

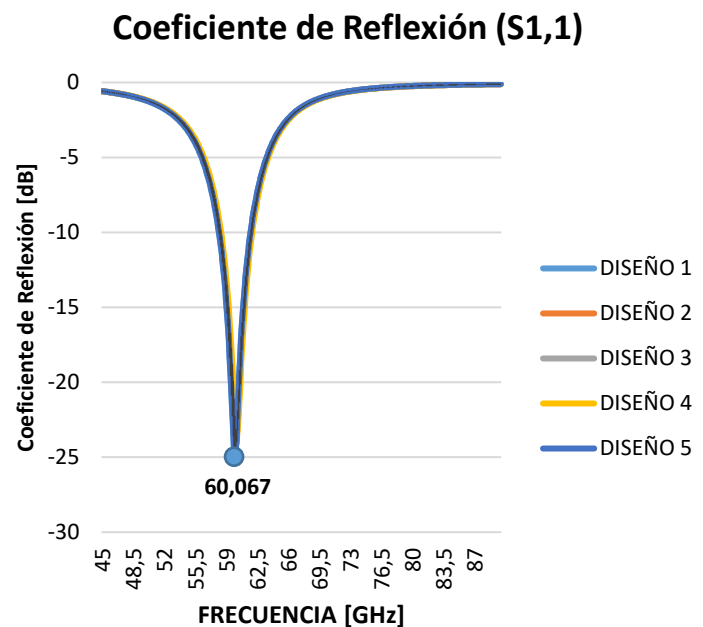


Figura 3.1. Parámetro S (1,1)

3.2. Resultados de VSWR

En la figura 3.2 se muestran los resultados de VSWR teniendo como referencia para esta investigación un valor entre 1dB y 1.5dB. Teóricamente se establece un valor entre 1 y 2, donde 1 es el acoplamiento perfecto y 2 el máximo tolerable, sin embargo para esta investigación el objetivo es 1,5 para no llegar al máximo tolerable.

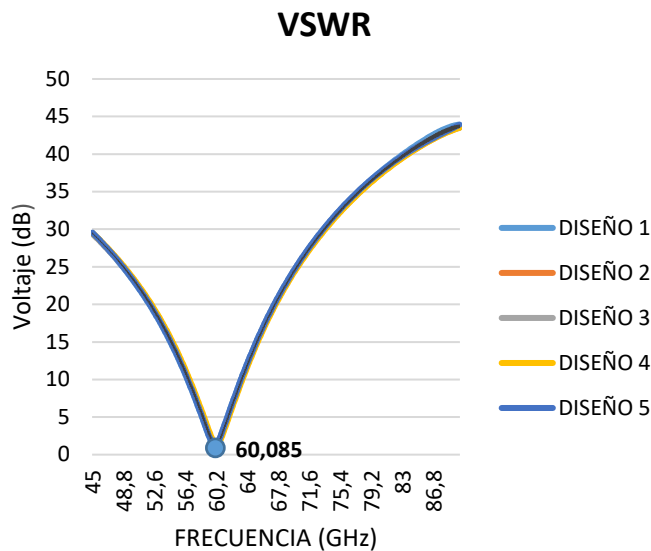


Figura 3.2. Parámetro VSWR

3.3. Patrón de Radiación y Ganancias

En la figura 3.3 se muestra el patrón de radiación omnidireccional en tres dimensiones con corte en $\Phi=0^\circ$, del mismo modo se ve en la figura 3.4 la ganancia de los cinco mejores resultados de simulación en dos dimensiones.

Se muestra una figura del patrón de radiación resultante debido a que los resultados obtenidos no varían en forma.

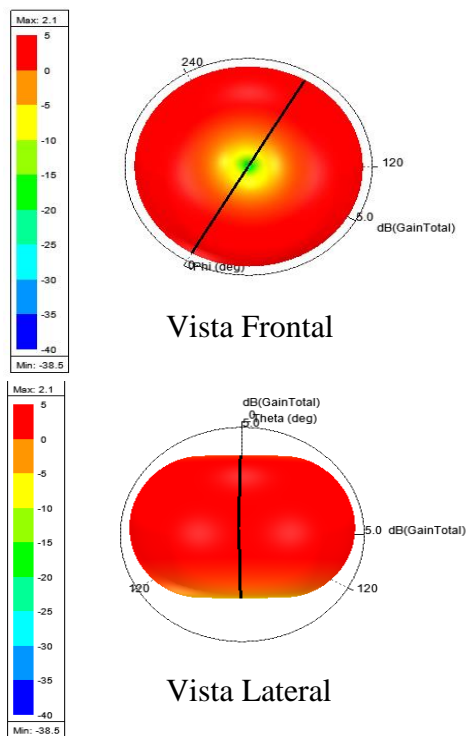


Figura 3.3 Cara Frontal y Lateral del Patrón de Radiación

En la tabla 3 se muestran los valores de ganancia del patrón de radiación.

	GANANCIA [dB]
Diseño 1	5
Diseño 2	10
Diseño 3	6
Diseño 4	8
Diseño 5	5

Tabla 3. Ganancias del patrón de radiación

Patrón de Radiación corte $0^\circ \phi$

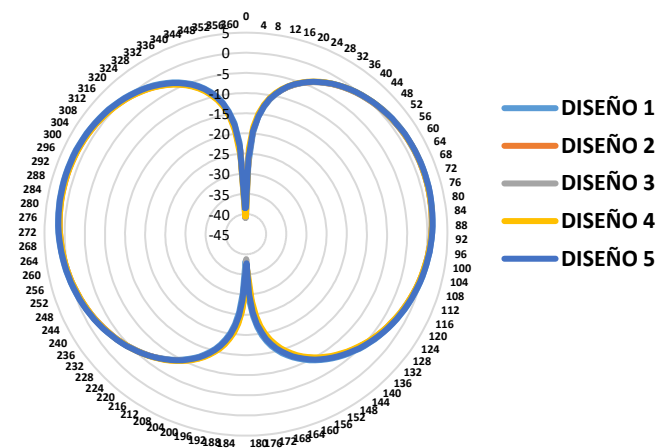


Figura 3.4. Patrón de Radiación corte $0^\circ \Phi$

En la siguiente tabla se muestran los valores de conductividad eléctrica de los materiales utilizados en la simulación.

Materiales	Conductividad (S/m)
Plata	0,6305
Cobre	0,5958

Tabla 4. Valores de conductividad de materiales conductores

4. Análisis de resultados

A una frecuencia de 60,01 GHz para el coeficiente de reflexión se obtuvo un valor para el diseño 1 de -24,95 dB y un valor de -24,86 dB para el diseño 5 esta diferencia se debe a que el conductor aumentó su grosor y longitud, lo que provoca que el campo eléctrico tangencial pierda energía y la ganancia disminuya. [1]

Para el VSWR del diseño 5 con la influencia del material conductor más grueso al igual que el dieléctrico, y la alta conductividad eléctrica que poseen la plata y el cobre a

diferencia de otros materiales, se tiene un valor óptimo de 1,04 dB. El VSWR tiende a 0 lo que significa que la ganancia aumentará cuando la potencia es mayor a -30dB y tiende a acercarse a 1dB cuando la potencia esta entre -20 y -25 dB. [10]

En la figura 3.4. se indica un patrón de radiación omnidireccional para el mejor diseño con una ganancia de 5,42dB, para la frecuencia de 60,01GHz con un mínimo de -24,95247 dB y un máximo de 1,5242 dB, por tanto el patrón de radiación de cada diseño no identifica nulos por ser un patrón que radía en todas las direcciones.

Los materiales son un factor predominante en el diseño de la antena, se probó con aluminio que tiene una conductividad eléctrica de $6,3e^7$ (S.m⁻¹) lo que hace que el coeficiente de reflexión tenga valores de menos de -10 dB y haya un desfase de frecuencia en mas de 50% debido a que la conductividad eléctrica del aluminio es muy baja lo que provoca la pérdida energía y la atenuación del campo eléctrico. [11]

Algunos dieléctricos utilizados en los diseños fueron Rogers TM i10 (tm) y Rogers RO4350, obteniendo valores del coeficiente de reflexión de -24,95247dB y -19dB respectivamente, por lo que se consideró como mejor dieléctrico a Rogers TM i10 con valor de 9,98 de permitividad dieléctrica relativa, lo que mejora la transmisión de las líneas de campo eléctrico y la propagación de la guía en los sistemas radiantes. [7]

Para esta investigación se consideró una bocina de gran tamaño ya que existe mayor directividad, los campos que llegan a la bocina son los campos que se expanden en la guía de onda y la bocina al comportarse como una guía de onda sectorial que soporta una onda cilíndrica en la que el campo eléctrico tangencial se anula.[12]

5. Conclusión

El mejor resultado es el diseño 5 debido a la variación de las dimensiones, lo cual afecta al campo eléctrico en menor proporción obteniendo un aumento de ganancia de -24,95dB a 60,01GHz, conjuntamente relacionado con el dieléctrico Rogers TM i10 donde la permitividad y conductividad de los metales inciden en la variación del coeficiente de reflexión S(1,1). Se logró ajustar la radiación por la apertura característica tipo bocina de la antena para el diseño 5, obteniendo menores pérdidas con un máximo de 1,52dB, si bien sea mayor el tamaño de la apertura la distribución del campo se extiende conforme su directividad aumenta, en cierto modo el resultado es irradiar de forma uniforme en todas las direcciones del plano de radiación en corte $\Phi=0^\circ$ logrando un patrón omnidireccional.

6. Referencias

- [1] C. Balanis, *Antenna Theory. Analysis and Design*, John Wiley and Sons Segunda Edición, 1997.
- [2] X. C. C. W. J. Y. X. C. Y. Yao, "Wideband circularly polarized antipodal curvedly tapered slot antenna array for 5G applications," *IEEE*, pp. 1539-1549, 2017.
- [3] Y. L. e. al., "Millimeterwave and terahertz waveguide-fed circularly polarized antipodal curvedly tapered slot antennas," *IEEE*, pp. 1607-1614, 2016.
- [4] Y. M. T. I. T. Manabe, "Effects of antenna directivity and polarization on indoor multipath propagation characteristics at 60 GHz," *IEEE*, pp. 1441-1448, 1996.
- [5] D. P. D. Lockie, "High-data-rate millimeter-wave radios," *IEEE*, pp. 75-83, 2009.
- [6] S. W. Q. Q. Z. K. B. N. C. H. C. X. Ruan, "A complementary circularly polarized antenna for 60-GHz applications," *IEEE*, pp. 1373-1376, 2017.
- [7] A. Siamarou, "Broadband Wireless Local-Area Networks at Millimeter Waves Around 60 GHz," *IEEE*, pp. 177-181, 2003.
- [8] X. C. C. W. Y. Yuan Yao, "Wideband Circularly Polarized Antipodal Curvedly Tapered Slot Antenna Array for 5G Applications," *IEEE*, pp. 1539-1549, 2017.
- [9] J. Anguera, "Teoría de Antenas," [Online]. Available: http://www.salleurl.edu/semipresencial/ebooks/ebooks/ebook_teoría_antenas.pdf.
- [10] A. Cardama, L. Jofré, J. Rius and J. y. B. S. Romeu, *Antenas*, Ediciones UPC, 1997.
- [11] J. A. H. Rueda, *Antenas: Principios Básicos, análisis y diseño*, California, 1998.
- [12] Belotserkovski, *Fundamentos de antenas*, Marcombo, 1977.
- [13] J. M. Huidobro, "Antenas de Telecomunicaciones," *ACTA*, pp. 1-18, 2013.
- [14] A. M. F. G. C. C. Emilio Monachesi, "Conceptos generales de Antenas," Universidad Tecnológica Nacional, Tucumán, 2011.